

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
15. November 2007 (15.11.2007)

PCT

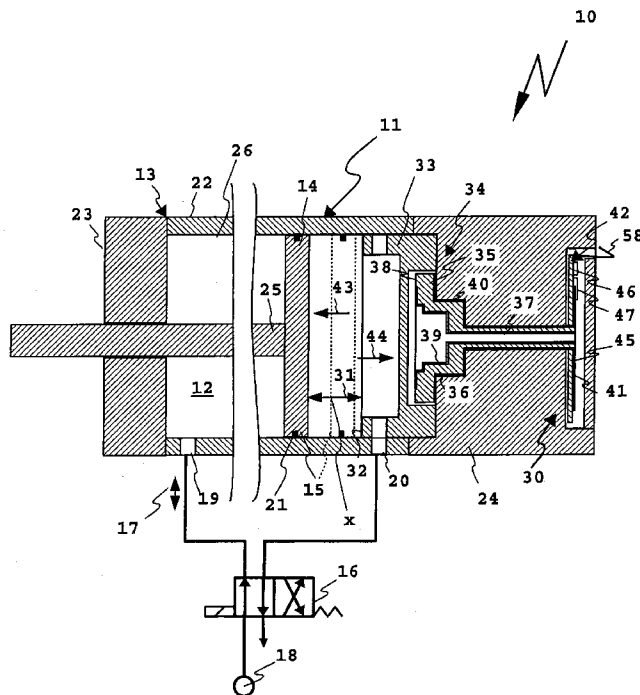
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2007/128387 A2

- (51) Internationale Patentklassifikation:
G01D 5/48 (2006.01) **F15B 15/28** (2006.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2007/003396 (74) **Anwälte: REIMOLD, Otto** usw.; Magenbauer & Kollegen, Plochingen Strasse 109, 73730 Esslingen (DE).
- (22) Internationales Anmeldedatum: 18. April 2007 (18.04.2007) (81) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
10 2006 021 206.1 6. Mai 2006 (06.05.2006) DE
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **FESTO AG & CO** [DE/DE]; Rüter Strasse 82, 73734 Esslingen (DE).
- (72) Erfinder; und
- (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **REININGER, Thomas** [DE/DE]; Paulinenstrasse 17, 73249 Wernau (DE). **MAIER, Marcus** [DE/DE]; Am Wallgraben 63,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: MICROWAVE POSITION MEASUREMENT APPARATUS AND POSITION MEASUREMENT METHOD

(54) Bezeichnung: MIKROWELLEN-POSITIONSMESSVORRICHTUNG UND POSITIONSMESSVERFAHREN



(57) **Abstract:** The invention relates to a position measurement method and a microwave position measurement apparatus for detecting the position of an actuator element (14) of an actuator (11), said element being arranged such that it can move in a movement area (12) of an actuator housing (13). The position measurement apparatus has a radio-frequency microwave antenna arrangement (34) for transmission of microwaves (43) of at least two frequencies (f1, f2, f3) that are different from each other into the movement area (12) and for reception of reflected microwaves (44) from the movement area (12) which are produced by at least partial reflection of the transmitted microwaves (43) on the actuator element, and evaluation means (42) for producing, on the basis of a measuring signal (50) produced by using the reflected microwaves (44), a position signal (52) which represents the respective position (x) of the actuator element (14). The microwave position measurement apparatus (30) is characterized in that the evaluation means (42), for producing the position signal (52), weights components (Ug11a, Ug12a, Ug13a) of the measuring signal (50) which depend on the at least two frequencies (f1, f2, f3) that are different from each other depending on the respective position (x) of the actuator element (14).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2007/128387 A2



TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

Veröffentlicht:

- ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Positionsmessverfahren und eine Mikrowellen-Positionsmessvorrichtung (30) zur Positionserfassung eines in einem Bewegungsraum (12) eines Aktor-Gehäuses (13) beweglich angeordneten Aktorglieds (14) eines Aktors (11), mit einer Hochfrequenz-Mikrowellen-Antennenanordnung (34) zum Senden von Mikrowellen (43) mit mindestens zwei voneinander verschiedenen Frequenzen (f_1 , f_2 , f_3) in den Bewegungsraum und zum Empfangen von durch zumindest teilweise Reflexion der gesendeten Mikrowellen (43) an dem Aktorglied gebildeten Reflexions-Mikrowellen (44) aus dem Bewegungsraum, und mit Auswertemitteln (42) zur Bildung eines die jeweilige Position (x) des Aktorglieds repräsentierenden Positionssignals (52) anhand eines anhand der Reflexions-Mikrowellen (44) gebildeten Messsignals (50). Bei der Mikrowellen-Positionsmessvorrichtung (30) ist vorgesehen, dass die Auswertemittel (42) zur Bildung des Positionssignals (52) von den mindestens zwei voneinander verschiedenen Frequenzen (f_1 , f_2 , f_3) abhängige Anteile (Ugl1a, Ugl2a, Ugl3a) an dem Messsignal (50) abhängig von einer jeweiligen Position (x) des Aktorglieds (14) gewichten.

FESTO AG & Co, Rüter Straße 82, 73734 Esslingen

Mikrowellen-Positionsmessvorrichtung
und Positionsmessverfahren

Die Erfindung betrifft ein Positionsmessverfahren und eine Mikrowellen-Positionsmessvorrichtung zur Positionserfassung eines in einem Bewegungsraum eines Aktor-Gehäuses beweglich angeordneten Aktorglieds eines Aktors, mit einer Hochfrequenz-Mikrowellen-Antennenanordnung zum Senden von Mikrowellen mit mindestens zwei voneinander verschiedenen Frequenzen in den Bewegungsraum und zum Empfangen von durch zumindest teilweise Reflexion der gesendeten Mikrowellen an dem Aktorglied gebildeten Reflexions-Mikrowellen aus dem Bewegungsraum, und mit Auswertemitteln zur Bildung eines die jeweilige Position des Aktorglieds repräsentierenden Positionssignals anhand eines anhand der Reflexions-Mikrowellen gebildeten Messsignals.

Beispielsweise sind aus der DE 198 33 220 A1 ein solches Positionsmessverfahren sowie eine Mikrowellen-Positionsmessvorrichtung bekannt. Die bekannte Positionsmessvorrichtung verfügt über eine Koppelsonde zur Einkopplung eines Mikrowellensignals in das Aktorgehäuse zum Beispiel eines pneumatischen Zylinders, dessen Kolben, d.h. das Aktorglied, die Wellen reflektiert. Der Kolbeninnenraum bildet einen Hohlleiter, in dem sich die Mikrowellen von der Koppelsonde zum Kolben hin und von diesem reflektiert als reflektierte Mikrowellen zurück in Richtung der Koppelsonde ausbreiten können. Bei der

bekannten Positionsmessvorrichtung ist ein Oszillator (VCO) vorhanden, der die Mikrowellen innerhalb einer vorbestimmten Bandbreite modulieren kann, um so mindestens zwei voneinander verschiedene Frequenzen zu erzeugen.

5 Bei einer ersten Inbetriebnahme des Aktors bzw. der Positionsmessvorrichtung gemäß der DE 198 33 220 A1 wird in einem sogenannten Suchmodus die absolute Position des Kolbens bestimmt, wobei die Frequenzen variiert werden. Wenn die Kolbenposition ermittelt ist, wird eine stehende Welle in das
10 Zylindergehäuse eingekoppelt, deren Verschiebung durch die Bewegung des Kolbens erfolgt, so dass über eine Phasenauswertung die Kolbenposition ermittelbar ist.

Allerdings ist das Signal der stehenden Welle nicht in jedem Fall optimal, so dass die Kolbenposition bei manchen Stellen
15 gen nicht mit der gewünschten Genauigkeit ermittelbar ist.

Es ist daher die Aufgabe der Erfindung, eine Positionsmessvorrichtung sowie ein Positionsmessverfahren bereit zu stellen, die eine hohe Messgenauigkeit ermöglichen.

Zur Lösung der Aufgabe ist bei der Mikrowellen-
20 Positionsmessvorrichtung der eingangs genannten Art vorgesehen, dass die Auswertemittel zur Bildung des Positionssignals von den mindestens zwei voneinander verschiedenen Frequenzen abhängige Anteile an dem Messsignal abhängig von einer jeweiligen Position des Aktorglieds gewichten. Ferner ist zur Lö-
25 sung der Aufgabe ein Positionsmessverfahren gemäß einem weiteren unabhängigen Anspruch vorgesehen.

Ein Grundgedanke der Erfindung ist, Mikrowellen, zum Beispiel Radarwellen, mit mehreren unterschiedlichen Frequenzen, z.B. in einem Bereich von 10 MHz bis 25 GHz, in einem zweckmäßi-

gerweise kontinuierlichen Modus in den Bewegungsraum einzukoppeln, die dann vom Aktorglied, beispielsweise dem Kolben eines Pneumatik-Zylinders, reflektiert werden. Der Kolben reflektiert die Mikrowellen, so dass reflektierte Mikrowellen bzw. Reflexions-Mikrowellen entstehen, die von der Mikrowellen-Antennenanordnung wieder empfangen werden. Die reflektierten Mikrowellen werden in Abhängigkeit von der Kolbenposition bzw. Aktorglied-Position gewichtet, wobei erfindungsgemäß diejenigen Mikrowellen bzw. diejenigen Frequenzen der Mikrowellen ein stärkeres Gewicht bei der Bildung des Positionssignals aufweisen, die eine höhere Messgenauigkeit erwarten lassen, als Mikrowellen, die eine geringere Messgenauigkeit erwarten lassen. Im einfachsten Fall sendet und empfängt die Mikrowellen-Antennenanordnung Mikrowellen mit mindestens zwei Frequenzen, so dass wenigstens eine dieser Frequenzen stärker gewichtbar ist als die andere, wobei die Gewichtung von der Aktorgliedposition abhängt und somit variabel ist.

Die Mikrowellen-Antennenanordnung sendet beispielsweise erste Mikrowellen mit einer ersten Frequenz und mindestens zweite Mikrowellen mit mindestens einer von der ersten Frequenz verschiedenen zweiten Frequenz in den Bewegungsraum. Die Auswertemittel der Positionsmessvorrichtung gewichten erfindungsgemäß zur Bildung des Positionssignals einen von der ersten frequenzabhängigen ersten frequenzabhängigen Anteil an dem Messsignal und mindestens einen von der mindestens zweiten frequenzabhängigen zweiten frequenzabhängigen Anteil an dem Messsignal in Abhängigkeit von einer jeweiligen Position des Aktorglieds.

Die Position des Aktorglieds ist mit hoher Genauigkeit bestimmbar, z.B. auf 10 Mikrometer genau.

Besonders zweckmäßig ist es allerdings, Mikrowellen mit mindestens einer weiteren Sendefrequenz, d.h. mindestens einer dritten Sendefrequenz, zu senden, und die durch diese hervorgerufenen Reflexions-Mikrowellen zu empfangen und erfindungsgemäß zu gewichten, so dass mindestens eine Redundanz vorhanden ist.

Eine Gewichtung kann sogar soweit gehen, dass eine oder mehrere der Frequenzen, die eine besonders hohe Ungenauigkeit erzeugen würden, mit Null gewichtet werden, d.h. sozusagen ausgeblendet werden.

Zweckmäßigerweise bilden die Auswertemittel einen Mittelwert aus mindestens zwei gewichteten frequenzabhängigen Anteilen an dem Messsignal. Ein Anteil mit einem größeren Gewicht geht dabei stärker in den Mittelwert ein als ein Anteil mit einem geringeren Gewicht.

Durch die Verwendung von zwei oder mehr unterschiedlichen Frequenzen können nicht ideale Verhältnisse, die beispielsweise durch Rauschen, unerwünschte Reflexionen oder dergleichen verursacht sind, verringert werden. Die Messwerte werden zweckmäßigerweise so gemittelt, dass Einflüsse von Anteilen mit ungünstigen Frequenzen an einer Position durch geringe Gewichtung oder gar Ausblendung gering sind.

Ein Maß für die Genauigkeit eines Anteils an dem Messsignal ist beispielsweise der Betrag eines Gradienten des Messsignals an einer Position des Aktorglieds in dem Bewegungsraum. Die Auswertemittel gewichten einen größeren Gradientenbetrag bzw. eine größere Steigung des jeweiligen frequenzabhängigen Anteiles an dem Messsignal zweckmäßigerweise stärker als einen Anteil mit einem kleineren Gradientenbetrag. Vorteilhaft

wird ein Anteil an dem Messsignal ganz ausgeblendet, wenn sein Gradient null ist oder in der Nähe von Null ist.

Dies ist beispielsweise an den oberen und unteren Scheitelpunkten eines sinus- oder kosinusförmigen Anteils an dem Messsignal der Fall. Die Auswertemittel gewichten z.B. einen der frequenzabhängigen Anteile oder mehrere der Anteile an dem Messsignal mit Null, wenn der Betrag seines Gradienten einen vorbestimmten Wert unterschreitet. Aber auch bei einem Phasensignal oder einer Phasendifferenzsignal werden erfindungsgemäß Anteile oder Abschnitte mit größeren Beträgen des Gradienten stärker gewichtet.

Zweckmäßigerweise hat die Positionsmessvorrichtung eine Mischeinrichtung zum Mischen, beispielsweise Multiplizieren, gesendeter Mikrowellen mit den Reflektionsmikrowellen. Das Ausgangssignal der Mischeinrichtung bildet das Messsignal, das mehrere Anteile mit unterschiedlichen Frequenzen aufweist.

Vorzugsweise wird im Rahmen der Erfindung eine Phasendifferenz-Messung durchgeführt. Die Positionsmessvorrichtung ermittelt anhand einer Phasendifferenz zwischen gesendeten und empfangenen Mikrowellen die Position des Aktorglieds. Die Phasendifferenz entsteht durch eine Laufzeit der Mikrowellen von der Antennenanordnung zum Aktorglied und von dort wieder zurück zur Antennenanordnung.

Das Messsignal enthält beispielsweise einen mit einem Kosinuswert der Phasendifferenz multiplizierten Gleichstromwert oder Gleichspannungswert. Das Messsignal kann auch einen mit einem Sinuswert der Phasendifferenz multiplizierten Gleichstromwert oder Gleichspannungswert aufweisen.

Der Kosinuswert entspricht beispielsweise einem Realteil eines komplexen Reflexionsfaktors, der Sinuswert einem Imaginärteil eines komplexen Reflexionsfaktors.

Besonders zweckmäßig ist es aber, dass bereits eine Phase oder eine Phasendifferenz, die das Messsignal beeinflusst, in Abhängigkeit von ihrem jeweiligen Gradientenbetrag gewichtet wird. Wenn an einer Position ein betragsmäßig großer Gradient bei dem Phasensignal oder Phasendifferenzsignal vorhanden ist, wird dieses stärker gewichtet wie ein anderes Phasensignal oder Phasendifferenzsignal, das bei dieser Position einen kleineren Gradienten aufweist. Ferner ist es denkbar, statt der Phase oder der Phasendifferenz den Realteil oder dem Imaginärteil eines komplexen Reflexionsfaktors erfindungsgemäß zu gewichten.

Dabei ist es z.B. möglich, dass an einer Position, wo der Kosinus oder der Realteil einen kleinen Gradientenbetrag aufweist, den Sinuswert bzw. dem Imaginärteil des komplexen Reflexionsfaktors auszuwerten und umgekehrt.

Ein Phasenverlauf oder Phasendifferenzverlauf kann als der Arcustangens eines Sinuswertes eines Phasenverlaufs bzw. Phasendifferenzsignals im Verhältnis zu einem Kosinuswert des Signals gebildet werden.

In der Praxis zeigt sich, dass ideale kosinusförmige oder sinusförmige Verläufe von Anteilen an dem Messsignal beispielsweise durch Fehlanpassungen der Mikrowellen-Antennenanordnungen an den Hohlleiter, die sich in der Praxis nicht vermeiden lassen, nicht erzielbar sind. Es liegt im Rahmen der Erfindung, durch solche Fehlanpassungen hervorgerufene steilere und weniger steile Abschnitte von frequenzabhängigen Anteilen an dem Messsignal stärker zu gewichten,

wenn ihr Gradient an der jeweiligen Position des Aktorgliedes steiler ist als bei einem anderen Anteil an dem Messsignal, das beispielsweise ebenfalls durch die Fehlanpassung bedingt einen weniger steilen Verlauf aufweist. Ferner können im Rahmen der Erfindung auch gezielt Fehlanpassungen der Mikrowellen-Antennenanordnungen herbeigeführt werden, um erfindungsgemäß steilere und weniger steile Abschnitte von frequenzabhängigen Anteilen an dem Messsignal zu erhalten, z.B. an vorbestimmten Positionen, wo ansonsten kein ausreichend genau auswertbares Messsignal vorläge.

Die Positionsmessvorrichtung kann beispielsweise einen Datensatz, z.B. eine Tabelle, enthalten, in dem Gewichtungsfaktoren für eine jeweilige Position des Aktorgliedes gespeichert sind. Die Gewichtungsfaktoren können beispielsweise in einem Lernmodus ermittelt werden und/oder mit Hilfe eines Parametrierwerkzeuges, beispielsweise eines Personalcomputers, programmiert werden.

Bei der Bestimmung der Gewichtungsfaktoren wird zweckmäßigerweise untersucht, inwiefern eine kleine Änderung der Position des Aktorglieds bei einer jeweiligen Sendefrequenz, beispielsweise bei einer ersten Sendefrequenz, eine möglichst große Veränderung des Messsignals bewirkt. Bei einer anderen Frequenz, beispielsweise bei einer zweiten Frequenz, kann diese Veränderung um die aktuell zu bestimmende Position beispielsweise geringer ausfallen, so dass die erste Frequenz bei der aktuellen Position stärker gewichtet wird. Für spätere Messungen der Position des Aktorglieds ist es dann bekannt, welche Signalfrequenzen in einer Umgebung um eine jeweilige Position des Aktorglieds eine starke Veränderung des Messsignals bewirken. Diese Signalfrequenzen werden stärker gewichtet, so dass die Position des Aktorglieds exakter bestimmbar ist.

Die Tabelle mit Gewichtungsfaktoren für die jeweiligen Positionen des Aktorgliedes können die Auswertemittel in dem Lernmodus z.B. so ermitteln, dass das Aktorglied sequentiell und/oder kontinuierlich individuelle Positionen anfährt.

5 Eine stärkere und eine geringere Veränderung des Messsignals durch einen jeweils frequenzabhängigen Anteil ist beispielsweise durch einen Vergleich zwischen aktuellen Messwerten und vorherigen Messwerten möglich. Auf diesem Wege kann beispielsweise ein Gradient ermittelt werden.

10 Es ist aber auch möglich, zunächst anhand der Auswertung aller Messsignale eine grobe Positionsbestimmung des Aktorgliedes durchzuführen, wobei bei der groben Positionsbestimmung zweckmäßigerweise sämtliche frequenzabhängigen Anteile an dem Messsignal im wesentlichen gleichwertig ausgewertet werden
15 (es wäre aber auch möglich, einen Anteil oder mehrere Anteile bereits bei der Grobestimmung geringer zu gewichten oder gar auszublenden) und dann, bei einer anschließenden Feinbestimmung der Position, die erfindungsgemäße Gewichtung der frequenzabhängigen Anteile durchzuführen, so dass Anteile, die
20 die Exaktheit des Positionssignales negativ beeinflussen würden, geringer gewichtet oder ausgeblendet bzw. ausgefiltert werden.

Bei der Untersuchung, welche Frequenzen eine besonders starke Auswirkung an einer jeweiligen Position des Aktorglieds auf
25 das Messsignal haben, wird zweckmäßigerweise rechnerisch die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Mikrowellen berücksichtigt. Auch eine Auswertung der Kalibrierung der Positionsmessvorrichtung ist dabei zweckmäßig.

Zur Positionsermittlung des Aktorglieds und/oder bei der Gewichtung der frequenzabhängigen Anteile an dem Messsignal
30

wird zweckmäßigerweise die Minimale-Fehlerquadrat-Methode und/oder ein lineares Gleichungssystem verwendet.

Die Mikrowellen werden zweckmäßigerweise in einem kontinuierlichen Modus gesendet. Es versteht sich, dass die Anwendung
5 der Erfindung auch bei einem diskontinuierlichen Modus möglich ist.

Der mit der erfindungsgemäßen Positionserfassungsvorrichtung ausgestattete Aktor ist zweckmäßigerweise ein Linearaktor. Der Aktor kann elektrisch, fluidtechnisch, beispielsweise
10 pneumatisch oder hydraulisch, angetrieben werden. Auch ein sogenannter Hybrid-Antrieb, der elektrisch und fluidtechnisch antreibbar ist, ist vorteilhaft.

Wie bereits oben erläutert, ist es zweckmäßig, redundante Frequenzanteile zu generieren bzw. zu empfangen, um eine größere
15 Auswahl von frequenzabhängigen Anteilen an dem Messsignal zu erzeugen, die gegebenenfalls geringer gewichtbar oder gar ausblendbar sind. So sieht beispielsweise eine zweckmäßige Variante der Erfindung vor, dass neben den ersten und mindestens zweiten Mikrowellen mit ersten und zweiten Frequenzen
20 zusätzlich mindestens eine dritte Frequenz gesendet und als Reflexions-Mikrowellen empfangen werden, wobei die Auswertemittel zur Gewichtung eines Anteils der dritten Mikrowellen im Verhältnis zu den Anteilen der ersten und mindestens zweiten Mikrowellen an dem Messsignal in Abhängigkeit von der jeweiligen
25 Position des Aktorglieds ausgestaltet sind. Die Auswertemittel können dann wahlweise die ersten, die zweiten oder die dritten frequenzabhängigen Anteile an dem Messsignal individuell mit Gewichtungsfaktoren versehen, gegebenenfalls ausfiltern.

Nachfolgend wird ein Ausführungsbeispiel anhand der Zeichnung näher erläutert. Es zeigen:

- Figur 1 eine geschnittene und teilweise schematische Ansicht eines mit einer erfindungsgemäßen Positionsmessvorrichtung ausgestatteten Aktors,
- Figur 2 ein teilweises Blockschaltbild von Auswertemitteln der Positionsmessvorrichtung gemäß Figur 1,
- Figur 3 drei frequenzabhängige Phasendifferenzsignale als Ausgangssignal eines Mischers der Auswertemittel gemäß Figur 2, wenn eine Mikrowellen-Antenne des Aktors gemäß Figur 1 ideal an dessen Hohlleiter angepasst ist,
- Figur 4 eine von einer Position eines Aktorglieds des Aktors gemäß Figur 1 abhängige Phasendifferenz eines der Phasendifferenzsignale gemäß Figur 3,
- Figur 5 eine schematische Ansicht einer ersten Ausführungsform der Auswertemittel der Positionsmessvorrichtung gemäß Figur 1,
- Figur 6 eine schematische Ansicht einer zweiten Ausführungsform der Auswertemittel der Positionsmessvorrichtung gemäß Figur 1,
- Figur 7 von einer Position eines Aktorglieds des Aktors gemäß Figur 1 abhängige reale Phasendifferenzen eines von Phasendifferenzsignalen, ähnlich Figur 3, allerdings bei einer nicht ideal an den Hohlleiter angepassten Mikrowellen-Antenne des Aktors gemäß Figur 1,

Figur 8 Realteile von komplexen Reflexionsfaktoren bei ideal und nicht ideal an einen Hohlleiter angepasster Mikrowellen-Antenne, etwa entsprechend einem der frequenzabhängigen Phasendifferenzsignale gemäß Figur 3, und

Figur 9 Imaginärteile von komplexen Reflexionsfaktoren gemäß Figur 8 bei ideal und nicht ideal angepasster Mikrowellen-Antenne.

Ein pneumatischer Arbeitszylinder 10 bildet einen Aktor 11, insbesondere einen fluidtechnischen Aktor. In einem Bewegungsraum 12 eines Aktorgehäuses 13 ist ein Aktorglied 14 linear hin- und herbeweglich angeordnet. Das Aktorglied 14 ist durch einen Kolben 15 des Arbeitszylinders 10 gebildet. Beim Ausführungsbeispiel handelt es sich um einen pneumatischen Arbeitszylinder mit einer Kolbenstange, wobei auch kolbenstangenlose Varianten, elektrische Antriebe, kombinierte elektro-pneumatische Antriebe, insbesondere Linearantriebe, ohne weiteres möglich sind.

Eine Ventilanordnung 16, die beispielsweise ein 2/2-Ventil aufweist, speist Druckluft 17 aus einer Druckluftquelle 18 über Druckluftanschlüsse 19, 20 in den Bewegungsraum 12 ein bzw. ermöglicht das Ausströmen von Druckluft aus den Druckluftanschlüssen 19, 20, um den Kolben 15 anzutreiben, der den Bewegungsraum 12 in zwei nicht näher bezeichnete Teilkammern trennt. Am Außenumfang des Kolbens 15 ist beispielsweise hierfür eine Dichtung 21 vorgesehen.

Ein Mittelteil 22 des Gehäuses 13 wird stirnseitig durch einen Lagerdeckel 23 sowie einen Abschlussdeckel 24 verschlossen, und begrenzt somit den Bewegungsraum bzw. die Kolbenkammer 12. Der Lagerdeckel 23 wird von einer Kolbenstange 25

durchdrungen, die ein Kraftabgriffselement des Arbeitszylinders 19 bildet.

Eine Positionsmessvorrichtung 30 dient zu einer Positionserfassung des Aktorglieds 14 innerhalb des Bewegungsraums 12, beispielsweise eines Abstandes 31 des Kolbens 15 von einem Endanschlag 32. Der Endanschlag 32 ist vorteilhaft durch eine Schutzeinrichtung 33 gebildet, beispielsweise ein Kunststoffelement, das eine Mikrowellen-Antennenanordnung 34 der Positionsmessvorrichtung 30 vor mechanischen Einflüssen, beispielsweise Druckstößen, Aufprall des Kolbens 15 oder dergleichen, schützt.

Die Mikrowellen-Antennenanordnung 34 enthält eine Koppelsonde 35 zum Senden und Empfangen von Mikrowellen mit hoher Frequenz, beispielsweise in einem Frequenzbereich von etwa 10 MHz bis 25 GHz. Die Koppelsonde 35 kann z.B. eine metallische Sonde sein. Vorliegend enthält die Koppelsonde 35 jedoch ein Kunststoffelement 36, das zum Bewegungsraum 12 hin einen Abstrahlbereich 38 aufweist, an dem sich nach hinten ein Kanalabschnitt 37 anschließt. Der Kanalabschnitt 37 bildet einen Koaxialleiter. Der Abstrahlbereich 38 ist beispielsweise stufenzylindrisch ausgestaltet. Das Kunststoffelement 36 (es könnte auch aus Keramik oder einem sonstigen Dielektrikum bestehen) ist innen und außen mit einer elektrisch leitfähigen Beschichtung 39, 40 versehen. Der Kanalabschnitt 37 verbindet den Abstrahlbereich 38 mit einer Hochfrequenzeinrichtung 41, beispielsweise einer Hochfrequenzplatine oder dergleichen, sowie einer Auswerteeinrichtung 42.

Mit Hilfe der Hochfrequenzeinrichtung 41 können Signale Mikrowellen 43 erzeugt werden, die die Koppelsonde 35 in den Bewegungsraum 12 einkoppelt. Der Bewegungsraum 12 bildet einen Hohlleiter 26, der die Mikrowellen 43 bis zum Aktorglied 14

leitet, das die Mikrowellen 43 reflektiert und Reflexionsmikrowellen 44 bildet. Die Beschichtungen 39, 40 sind mit der Hochfrequenzeinrichtung 41 elektrisch verbunden, die nicht näher bezeichnete Einkopplungselemente und Auskopplungselemente, zum Beispiel Kondensatoren, Millimeterwellen Integrated Circuits (ICs), Richtkoppler oder dergleichen enthält. Diese Bauteile sind an einer im Wesentlichen planaren hinteren stirnseitigen Trägerstruktur 45 angeordnet. Die Hochfrequenzeinrichtung 41 kann die Mikrowellen 43 in unterschiedlichen Frequenzen f_1 , f_2 und f_3 sowie weiteren, nicht näher bezeichneten Frequenzen senden. Ein in Figur 5 dargestellter Generator 59, der beispielsweise einen spannungsgesteuerten Oszillator (VCO) oder dergleichen enthält, erzeugt Mikrowellen 43 mit Referenzphasen ϕ_{01} , ϕ_{02} und ϕ_{03} mit den Frequenzen f_1 bis f_3 die die Koppelsonde 35 in den Hohlleiter 26 sendet. Ferner werden die Mikrowellen 43 mit Referenzphasen ϕ_{01} , ϕ_{02} und ϕ_{03} über eine Leitung 62 zu der Mischeinrichtung 48 geführt.

Die Hochfrequenzeinrichtung 41 sowie die Auswerteeinrichtung 42, die Auswertemittel im Sinne der Erfindung enthält oder bildet, sind elektrisch miteinander verbunden und zweckmäßigerweise auf derselben Trägerstruktur 45 angeordnet.

Die Auswerteeinrichtung 42 ermittelt anhand der Laufzeit und/oder der Phasendifferenz zwischen den Mikrowellen 43, 44 eine jeweilige Position x , die z.B. dem Abstand 31 entspricht, des Aktorglieds 14 innerhalb des Bewegungsraumes 12. Die Auswerteeinrichtung 42 enthält hierzu beispielsweise einen Prozessor 46, einen Speicher 47 und/oder weitere elektronische Bauelemente, beispielsweise ASICs (Application Specific Integrated Circuits) oder dergleichen.

Ferner enthalten die Auswerteeinrichtung 43 und/oder die Hochfrequenzeinrichtung 41 eine Mischeinrichtung 48 zum Mischen, insbesondere zum Multiplizieren der in den Bewegungsraum 12 gesendeten Mikrowellen 43, d.h. der zum Kolben 15 hinlaufenden Mikrowellen, mit den von dem Kolben 15 reflektierten, rücklaufenden Mikrowellen 44. Die Mischeinrichtung 48 bildet ein Ausgangssignal 49. Das Ausgangssignal 49 bildet vorliegend ein Messsignal 50. Das Messsignal 50 enthält beispielsweise Anteile Ugl1a, Ugl2a und Ugl3a, die von Frequenzen f1, f2, f3 der gesendeten bzw. empfangenen Reflexionsmikrowellen 43, 44 abhängig sind. Die Anteile Ugl1a bis Ugl3a sind beispielsweise mit einem Gleichspannungswert U0 multiplizierte Kosinuswerte von Phasendifferenzen $\Delta\varphi_1$, $\Delta\varphi_2$ und $\Delta\varphi_3$, die ihrerseits wiederum von den Frequenzen f1, f2 und f3 abhängen, beispielsweise gemäß nachfolgender Formeln:

$$U_{gl1a} = U_0 * \cos(\Delta\varphi_1) = U_0 * \cos(2 * k_1 * x) = U_0 * \cos\left(2 * \frac{2\pi}{\lambda_1} * x\right) \quad (1)$$

$$U_{gl2a} = U_0 * \cos(\Delta\varphi_2) = U_0 * \cos(2 * k_2 * x) = U_0 * \cos\left(2 * \frac{2\pi}{\lambda_2} * x\right) \quad (2)$$

$$U_{gl3a} = U_0 * \cos(\Delta\varphi_3) = U_0 * \cos(2 * k_3 * x) = U_0 * \cos\left(2 * \frac{2\pi}{\lambda_3} * x\right) \quad (3)$$

mit

$$\Delta\varphi_1 = \varphi_1(x) - \varphi_{01} \quad (4)$$

$$\Delta\varphi_2 = \varphi_2(x) - \varphi_{02} \quad (5)$$

$$\Delta\varphi_3 = \varphi_3(x) - \varphi_{03} \quad (6)$$

Bei den obigen Formeln (1) - (6) bedeuten die Indizes 1 bis 3 die Abhängigkeit von den Frequenzen f_1 bis f_3 . λ_1 bis λ_3 sind die Wellenlängen und k_1 , k_2 und k_3 die Wellenzahlen der Mikrowellen 43, 44 in Abhängigkeit von den Frequenzen f_1 , f_2 und f_3 . Die Phasendifferenzen $\Delta\varphi_1$, $\Delta\varphi_2$ und $\Delta\varphi_3$ sind die Differenzen zwischen von der Position x des Aktorglieds 14 abhängigen Phasen $\varphi_1(x)$, $\varphi_2(x)$ und $\varphi_3(x)$ der reflektierten Mikrowellen 44 und den Referenzphasen φ_{01} , φ_{02} und φ_{03} . Die Mikrowellen 44 werden von der Koppelsonde 35 empfangen und als Signal 64 in eine mit einem Widerstand 60 abgeschlossene Leitung 61 eingekoppelt, die zu der Mischeinrichtung 48 führt.

Das Ausgangssignal 49 der Mischeinrichtung 48 entspricht den Anteilen (z.B. Spannungen) U_{gl1a} , U_{gl2a} und U_{gl3a} , die von Frequenzen f_1 , f_2 , f_3 der gesendeten bzw. empfangenen Reflexionsmikrowellen 43, 44 abhängig sind. In Figur 5 sind beispielhaft die Referenzphase φ_{01} , die Phase $\varphi_1(x)$ und der Anteil U_{gl1a} eingezeichnet. Diese Werte entstehen, wenn der Generator 58 Mikrowellen 43 mit der Frequenz f_1 erzeugt.

In Figur 3 sind die kosinusförmigen Verläufe der Anteile U_{gl1a} , U_{gl2a} und U_{gl3a} dargestellt.

In einem ersten Schritt ermitteln die Auswertemittel bzw. die Auswerteeinrichtung 42 zunächst eine absolute Position x des Aktorglieds 14 in dem Bewegungsraum 12. Der Prozessor 46 ermittelt anhand von mindestens zweien der Anteile U_{gl1a} , U_{gl2a} und U_{gl3a} zunächst die absolute Position x . Beispielsweise wertet er zwei der Formeln (1), (2) und (3) in der Art eines linearen Gleichungssystemes aus. Auch die Anwendung einer Minimalen Fehlerquadrat-Methode ist zur Bestimmung der Absolutposition x des Aktorglieds 14 denkbar. Allerdings haben die Erfinder erkannt, dass die Anteile U_{gl1a} , U_{gl2a} und U_{gl3a}

nicht bei jeder Position x eine hinreichende Messgenauigkeit und Positionsbestimmung möglich machen. Hier setzt die Erfindung an:

Die Auswerteeinrichtung 42 gewichtet die Anteile Ugl1a, Ugl2a und Ugl3a in Abhängigkeit von einer jeweiligen Position x des Aktorglieds 14. Beispielsweise ist in dem Speicher 47 eine Tabelle 51 mit Gewichtungsfaktoren g_{11} , g_{12} , g_{13} für eine Position x_1 , Gewichtungsfaktoren g_{21} , g_{22} , g_{23} für eine Position x_2 , g_{31} , g_{32} , g_{33} für eine Position x_3 des Aktorglieds 14 sowie weiteren aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht dargestellten Gewichtungsfaktoren für weitere Positionen x des Aktorglieds 14 gespeichert. Die Tabelle 51 ist beispielsweise über eine Parametrierschnittstelle 57 parametrierbar.

Ferner kann die Mikrowellen-Positionsmessvorrichtung 30 die Tabelle 51 in einer Art Lernmodus selbsttätig erstellen, bei dem das Aktorglied 14 innerhalb des Bewegungsraums 12 positioniert wird und die Auswerteeinrichtung 42 die jeweiligen Anteile Ugl1a, Ugl2a und Ugl3a bei diesen Positionen auf ihre Genauigkeit hin, insbesondere ihren Gradienten an den jeweiligen Positionen, analysiert.

Die Auswerteeinrichtung 42 gewichtet die Anteile Ugl1a, Ugl2a und Ugl3a mit einem Satz Gewichtungsfaktoren g_{11} , g_{12} , g_{13} bei einer Position x_1 , g_{21} , g_{22} , g_{23} bei einer Position x_2 sowie g_{31} , g_{32} , g_{33} bei einer Position x_3 des Aktorglieds 14. Die Gewichtungsfaktoren g_{11} bis g_{13} können bei einer jeweiligen Position x_1 , x_2 oder x_3 auch 0 sein.

Ferner können die Gewichtungsfaktoren g_{11} bis g_{33} vorteilhaft dazu dienen, ein Positionssignal 52, das die Auswerteeinrichtung 42 anhand der Anteile Ugl1a, Ugl2a und Ugl3a generiert, und/oder die Anteile Ugl1a, Ugl2a und Ugl3a zu linearisieren.

Das Positionssignal 52 repräsentiert eine jeweilige Position x des Aktorglieds 14 in dem Bewegungsraum 12. Das Positionssignal 52 ist beispielsweise ein analoges, zweckmäßigerweise lineares, Spannungssignal U_p in Abhängigkeit von der Position x , ein digitales Ausgangssignal oder dergleichen. Das Positionssignal 52 ist vorteilhaft ein anhand der gewichteten, mit den Gewichtungsfaktoren $g_{11} - g_{13}$, $g_{21} - g_{23}$, $g_{31} - g_{33}$ multiplizierten Anteile U_{g11a} , U_{g12a} und U_{g13a} gebildeter Mittelwert. Die Gewichtungsfaktoren $g_{11} - g_{13}$, $g_{21} - g_{23}$, $g_{31} - g_{33}$ bilden vorteilhaft jeweils dieselbe Gesamtsumme, z.B. jeweils 1.

Die Auswerteeinrichtung 42 versendet das Positionssignal 52 z.B. drahtgebunden (nicht dargestellt) oder drahtlos mit einer Antenne 58.

Beispielsweise weisen die Anteile U_{g11a} , U_{g12a} und U_{g13a} eine größere Genauigkeit im Bereich ihrer Nullpunkte auf als im Bereich ihrer Minima $-U_0$ bzw. Maxima $+U_0$. Im Bereich der Minima $-U_0$ bzw. Maxima $+U_0$ ändern sich die Anteil U_{g11a} , U_{g12a} und U_{g13a} bei einer Positionsänderung des Aktorglieds 14 in x -Richtung verhältnismäßig wenig. Es ist beispielsweise denkbar, dass die Auswerteeinrichtung 42 die Anteile U_{g11a} , U_{g12a} und U_{g13a} nur dann auswertet, wenn sie an einer beliebigen Position x innerhalb eines Korridors 53 sind, der durch einen oberen und einen unteren Grenzwert 54, 55 begrenzt ist.

An der Position x_1 haben beispielsweise die Anteile U_{g11a} und U_{g12a} eine große Steigung bzw. einen großen Gradienten. Dementsprechend sind beispielsweise die Gewichtungsfaktoren g_{11} und g_{12} , die den Anteilen U_{g11a} und U_{g12a} zugeordnet sind, groß, wohingegen der Gewichtungsfaktor g_{13} , der dem Anteil U_{g13a} zugeordnet ist, klein ist. An der Position x_1 ist der Anteil U_{g13a} außerhalb des Korridors 53. Die Steigung des An-

teils Ugl3a ist außerhalb des Korridors 53 und somit auch bei der Position x1 verhältnismäßig klein.

Es besteht nun die Möglichkeit, dass die Auswerteeinrichtung 42 den Anteil Ugl3a beispielsweise mit dem Gewichtungsfaktor $g_{13} = \text{NULL}$ bewertet und somit sozusagen ausfiltert oder ausblendet und das Positionssignal 52 bei der Position x1 ausschließlich anhand der Anteile Ugl1a, Ugl2a ermittelt.

Weil die Auswerteeinrichtung 42 anhand der Auswertung der Gleichungen (1) bis (3) bereits die absolute Position x1 des Aktorglieds 14 grob bestimmt hat, wäre es sogar möglich, dass die Auswerteeinrichtung 42 eine Feinbestimmung der Position x1 nur anhand eines der beiden Anteile Ugl1a oder Ugl2a an dem Messsignal 50 bestimmt, beispielsweise durch eine Arcuskosinus-Auswertung der Gleichungen (1) oder (2).

Bei der Position x2 ist der dem Anteil Ugl1a zugeordnete Gewichtungsfaktor g_{21} zweckmäßigerweise 1, die Gewichtungsfaktoren g_{22} und g_{23} sind vorteilhafterweise 0, weil nur der Anteil Ugl1a eine optimale Steigung bei dieser Position x2 aufweist. Der Anteil Ugl1a hat bei x2 z.B. einen Gradienten gr_1 . Die Gradienten gr_2 und gr_3 der Anteile Ugl2a und Ugl3a sind bei x2 z.B. wesentlich kleiner als der Gradient gr_1 .

Bei der Position x3 hingegen ist der dem Anteil Ugl1a zugeordnete Gewichtungsfaktor g_{31} vorteilhafterweise 0, weil das Signal Ugl1a an dieser Stelle eine geringe Steigung hat. Der Kosinuswert ist bei x3 nämlich nahe dem unteren Maximum -U0 bzw. dem unteren Scheitelpunkt. Die Anteile Ugl2a und Ugl3a werden zweckmäßigerweise mit höheren Gewichtungsfaktoren g_{32} und g_{33} gewichtet.

Zweckmäßigerweise bildet die Auswerteinrichtung 42 einen Mittelwert anhand der gewichteten, mit den Gewichtungsfaktoren g_{32} und g_{33} multiplizierten Anteile Ugl2a und Ugl3a. Das Signal Ugl1a bildet an der Position x_3 z.B. ein redundantes Signal.

In Figur 4 ist ein beispielhafter Verlauf der Phasendifferenz $\Delta\phi_1$ dargestellt, wobei das Signal $\Delta\phi_1$ um eine 360° bzw. 2π -Periodizität bereinigt ist. Mit einer gestrichelten Linie 56 ist eine nicht solcherart bereinigte Phasendifferenz $\Delta\phi_1'$ angedeutet.

Im Zusammenhang mit Figur 3 wurde erläutert, dass der Gradient eines Anteils Ugl1a, Ugl2a und Ugl3a bei einem kosinusförmigen Verlauf gemäß Formeln (1), (2) und (3) ein zweckmäßiges Kriterium darstellt, welcher Anteil Ugl1a, Ugl2a und Ugl3a höher gewichtet werden soll und welcher geringer. Bei der Darstellung gemäß Figur 4 ist prinzipiell dieselbe Vorgehensweise möglich. Beispielsweise wird das Phasensignal $\Delta\phi_1$ jeweils zwischen Positionen x_1 und x_4 , x_6 und x_7 sowie x_8 und x_9 mit einem Gewichtungsfaktor ungleich Null, z.B. größer Null, bewertet und außerhalb dieser Positionen mit einem Gewichtungsfaktor 0. Bei dem oberen Maximum π bzw. dem unteren Maximum $-\pi$ ist nämlich $\cos(\Delta\phi) = 0$.

Es versteht sich, dass die Erfindung nicht nur bei Linearaktoren, sondern auch bei sonstigen Abstandsmessungen bzw. Positionsmessungen sinnvoll zweckmäßig anwendbar ist.

Es versteht sich, dass die Auswerteinrichtung 42 - wie auch ein sonstiges erfindungsgemäßes Auswertemittel - auch sozusagen online die Gewichtungsfaktoren an einer Position x ermitteln kann, z.B. durch Auswertung der jeweiligen Gradienten

der frequenzabhängigen Anteile Ugl1a, Ugl2a und Ugl3a. Gespeicherte Gewichtungsfaktoren, z.B. die Tabelle 51, sind dann nicht nötig. Z.B. kann die Auswerteeinrichtung 42 die Gradienten gr_1 , gr_2 und gr_3 zueinander in Relation setzen, um die Gewichtungsfaktoren g_{21} , g_{22} und g_{23} zu ermitteln. Ferner kann die Auswerteeinrichtung 42 z.B. mindestens einen der Anteile Ugl1a, Ugl2a oder Ugl3a auswählen, der an einer Position x den größten Gradienten gr_1 , gr_2 und gr_3 hat, und einen oder mehrere Anteile Ugl1a, Ugl2a oder Ugl3a mit Null gewichten, z.B. bei x_2 die Anteile Ugl2a und Ugl3a.

Beim obigen Ausführungsbeispiel waren die Anteile Ugl1a bis Ugl3a jeweils ideal, weil die Mikrowellen-Antennenanordnung 34 ideal auf den Hohlleiter 26 angepasst war. Beim nachfolgenden Ausführungsbeispiel ist dies nicht der Fall. Ferner dient das nachfolgend anhand der Figuren 6 bis 9 beschriebene zweite Ausführungsbeispiel einer Auswerteeinrichtung 42' dazu, zu erläutern, dass an Stelle eines sinusförmigen oder kosinusförmigen Anteils an dem Messsignal 50 auch andere Anteile, beispielsweise Realteile eines komplexen Reflexionsfaktors und/oder Phasendifferenzsignale erfindungsgemäß unterschiedlich stark gewichtet werden können.

Die Auswerteeinrichtung 42' gemäß Figur 6, die einen sogenannten I/Q-Mischer umfasst, entspricht teilweise der Auswerteeinrichtung 42 gemäß Figur 5. Gleiche oder gleichartige Bauteile sind mit den gleichen Bezugszeichen versehen.

Zusätzlich zu der Mischeinrichtung 48 enthält die Auswerteeinrichtung 42' eine zweite Mischeinrichtung 71 zum Erzeugen sinusförmiger Anteile Ugl1b, Ugl2b und Ugl3b an dem Messsignal 50. Das Signal 62 mit den Referenzphasen ϕ_{01} , ϕ_{02} und/oder ϕ_{03} wird zunächst einem Laufzeitglied 70, z.B. einer

$\lambda/4$ -Leitung oder einem sogenannten 90-Grad-Hybrid zugeführt. Das Laufzeitglied 70 bewirkt eine Veränderung der Phasenlage des Signals 63 um 90° . Das Ausgangssignal 73 des Laufzeitglieds 70 und das Signal 64 werden der Mischeinrichtung 71 zugeführt, die beispielsweise bei Beaufschlagung mit der Frequenz f_1 das Ausgangssignal $U_{gl1b}(f_1)$ gemäß der nachfolgenden Formel erzeugt.

$$U_{gl1b} = U_0 * \cos(\Delta\phi_1 - \frac{\pi}{4}) = U_0 * \sin(\phi_1(x) - \phi_{01}) \quad (7)$$

Durch die Veränderung der Phasenlage um 90° entsteht ein sinusförmiger Verlauf. Sinngemäß stehen analog zu den Formeln (2) und (3) von den Frequenzen f_2 und f_3 abhängige Anteile U_{gl2b} und U_{gl3b} als Ausgangssignal 72 am Ausgang des Mixers 71 bereit, wenn der Generator mit den Frequenzen f_2 und f_3 arbeitet.

Die Anteile U_{gl1a} und U_{gl1b} kann man auch als die Realteile und Imaginärteile eines komplexen Reflexionsfaktors gemäß den nachfolgenden Formeln 8 und 9 darstellen:

$$U_{gl1a} = \text{Re}(U_0 * e^{-jkx^2}) \quad (8)$$

$$U_{gl1b} = \text{Im}(U_0 * e^{-jkx^2}) \quad (9)$$

Bei ideal an den Hohlleiter 26 angepasster Mikrowellen-Antennenanordnung 34 werden die ideale Verläufe $U_{gl1ai}(f_1)$ und $U_{gl1bi}(f_1)$ gemäß Figuren 8 und 9 gebildet. Der Index i bedeutet idealer Verlauf, der bei einer ideal an den Hohlleiter 26 angepassten Antennenanordnung 35 entsteht.

Im Rahmen der Erfindung ist es auch als vorteilhaft erkannt worden, vorhandene Fehlanpassungen der Antennenanordnung 34

an den Hohlleiter 26 bei der Gewichtung der Anteile an dem Messsignal auszunutzen. Es liegt sogar im Rahmen des erfindungsgemäßen Konzeptes, gezielt Fehlanpassungen der jeweiligen Antennenanordnung an den jeweiligen Hohlleiter herbeizufügen, um Verläufe von Anteilen an dem Messsignal zu erzeugen, die gerade nicht ideal sind und stärkere und größere und kleinere Gradienten aufweisen.

Beispielsweise haben die realen Verläufe (Index r) $U_{gl1ar}(f_1)$ und $U_{gl1br}(f_1)$ Gradienten, die von den Gradienten der Idealverläufe $U_{gl1ai}(f_1)$ und $U_{gl1bi}(f_1)$ abweichen.

Bei einer Position x_1 hat das Signal $U_{gl1ar}(f_1)$ einen Nulldurchgang und einen maximalen Gradienten. An dieser Stelle wird das Signal $U_{gl1ar}(f_1)$ ausgewertet. Auch bei einer Position x_3 wird das Signal $U_{gl1r}(f_1)$ von der Auswerteeinrichtung stark gewichtet.

Bei einer Position x_2 hingegen hat der Anteil $U_{gl1ar}(f_1)$ einen kleinen Gradienten und wird geringer gewichtet oder gar mit einem Faktor Null gewichtet und somit ausgeblendet.

An dieser Stelle erkennt man einen Zusammenhang mit dem Phasendifferenzverlauf gemäß Figur 7. In Figur 7 sind Phasendifferenzverläufe $\Delta\phi_1(x)$ und $\Delta\phi_2r(x)$ dargestellt, die durch eine ohnehin vorhandene und/oder gezielt herbeigeführte Fehlanpassung der Antennenanordnung 34 an den Hohlleiter 26 bewirkt sind. In Figur 4 sind zum Vergleich ideale Verläufe dargestellt. Beispielsweise hat das Signal $\Delta\phi_r(x)$ an der Position x_1 einen steilen Gradienten. An der Position x_2 verläuft das Signal $\Delta\phi_1r(x)$ flacher. An dieser Stelle wird zweckmäßigerweise das Signal $\Delta\phi_2r(x)$, das von der Frequenz f_2 abhängt, ausgewertet.

Die Auswerteeinrichtung 42' bildet das Signal $\Delta\phi_{2r}(x)$ beispielsweise als Arcustangens gemäß der nachfolgenden Formel (10):

$$\phi_1 = \arctan \frac{U_{glb}}{U_{gla}} \quad (10)$$

Ansprüche

1. Mikrowellen-Positionsmessvorrichtung zur Positionserfassung eines in einem Bewegungsraum (12) eines Aktor-Gehäuses (13) beweglich angeordneten Aktorglieds (14) eines Aktors (11), mit einer Hochfrequenz-Mikrowellen-Antennenanordnung (34) zum Senden von Mikrowellen (43) mit mindestens zwei voneinander verschiedenen Frequenzen (f_1 , f_2 , f_3) in den Bewegungsraum (12) und zum Empfangen von durch zumindest teilweise Reflexion der gesendeten Mikrowellen (43) an dem Aktorglied (14) gebildeten Reflexions-Mikrowellen (44) aus dem Bewegungsraum (12), und mit Auswertemitteln (42; 42') zur Bildung eines die jeweilige Position (x) des Aktorglieds (14) repräsentierenden Positionssignals (52) anhand eines mittels der Reflexions-Mikrowellen (44) gebildeten Messsignals (50), dadurch gekennzeichnet, dass die Auswertemittel (42; 42') zur Bildung des Positionssignals (52) von den mindestens zwei voneinander verschiedenen Frequenzen (f_1 , f_2 , f_3) abhängige Anteile (U_{gl1a} , U_{gl2a} , U_{gl3a} ; $\Delta\phi_1$, $\Delta\phi_2$; U_{gl1ar} ; U_{gl1br}) an dem Messsignal (50) abhängig von einer jeweiligen Position (x) des Aktorglieds (14) gewichten.
2. Mikrowellen-Positionsmessvorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die frequenzabhängigen Anteile (U_{gl1a} , U_{gl2a} , U_{gl3a} ; $\Delta\phi_1$, $\Delta\phi_2$; U_{gl1ar} ; U_{gl1br}) an dem Messsignal (50) abhängig ihrem jeweiligen Gradienten gewichten, wobei die Auswertemittel (42; 42') einen Anteil (U_{gl1a} , U_{gl2a} , U_{gl3a} ; $\Delta\phi_1$, $\Delta\phi_2$; U_{gl1ar} ; U_{gl1br}) an dem Messsignal (50) mit einem betragsmäßig größeren Gradient stärker gewichten als einen Anteil (U_{gl1a} , U_{gl2a} , U_{gl3a} ; $\Delta\phi_1$, $\Delta\phi_2$; U_{gl1ar} ; U_{gl1br}) mit einem betragsmäßig kleineren Gradienten.

3. Mikrowellen-Positionsmessvorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Auswertemittel (42; 42') mindestens einen der frequenzabhängigen Anteile (Ugl1a, Ugl2a, Ugl3a; $\Delta\phi_1$, $\Delta\phi_2$; Ugl1ar; Ugl1br) an dem Messsignal (50) mit Null gewichten, wenn der Betrag seines Gradienten (gr1, gr2, gr3) einen vorbestimmten Wert unterschreitet.
4. Mikrowellen-Positionsmessvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Auswertemittel (42; 42') zur Bildung des Positionssignals (52) einen Mittelwert aus mindestens zwei gewichteten frequenzabhängigen Anteilen (Ugl1a, Ugl2a, Ugl3a; $\Delta\phi_1$, $\Delta\phi_2$; Ugl1ar; Ugl1br) an dem Messsignal (50) bilden.
5. Mikrowellen-Positionsmessvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass sie eine Mischeinrichtung (48; 71) zum Mischen, insbesondere Multiplizieren, gesendeter Mikrowellen (43) mit den Reflexions-Mikrowellen (44) aufweist, wobei ein Ausgangssignal (49; 72) der Mischeinrichtung (48; 71) das Messsignal (50) oder einen Bestandteil davon bildet.
6. Mikrowellen-Positionsmessvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass sie mindestens ein Laufzeitglied (70) zum Verändern der Phasenlage eines Signals (63) zum Senden der Mikrowellen (43) und/oder anhand der empfangenen Reflexions-Mikrowellen (44) erzeugten Signals (64) aufweist.
7. Mikrowellen-Positionsmessvorrichtung nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass das Laufzeitglied (70) eine Phasenlage des Signals (63) zum Senden der Mikrowellen (43) um 90 Grad verändert und so ein Signal (73) bildet, das der Mischeinrichtung (71) zum Mischen mit dem anhand der empfan-

genen Reflexions-Mikrowellen (44) erzeugten Signal (64) zugeführt wird.

8. Mikrowellen-Positionsmessvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Messsignal (50) einen Phasenverlauf, insbesondere eine Phasendifferenz, zwischen gesendeten Mikrowellen und empfangenen Reflexions-Mikrowellen (44) enthält.

9. Mikrowellen-Positionsmessvorrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass das Messsignal (50) den Phasenverlauf oder die Phasendifferenz abhängig von einer jeweiligen Position (x) des Aktorglieds (14) gewichtet.

10. Mikrowellen-Positionsmessvorrichtung nach Anspruch 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, dass das Messsignal (50) einen mit einem Kosinuskwert oder Sinuskwert der Phasendifferenz multiplizierten Gleichstromwert oder Gleichspannungswert enthält.

11. Mikrowellen-Positionsmessvorrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Auswertemittel (42; 42') zur Bildung des Positionssignals (52) dasjenige, einen Kosinuskwert oder Sinuskwert enthaltende Messsignal (50) stärker gewichten, dessen Gradient betragsmäßig größer ist.

12. Mikrowellen-Positionsmessvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Auswertemittel (42; 42') zur Bildung des Positionssignals (52) einen Realteil und/oder einen Imaginärteil eines komplexen, in dem Messsignal (50) enthaltenen Reflexionsfaktors gewichten.

13. Mikrowellen-Positionsmessvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Auswertemittel (42; 42') die frequenzabhängigen Anteile (Ugl1a, Ugl2a, Ugl3a; $\Delta\phi_1$, $\Delta\phi_2$; Ugl1ar; Ugl1br) an dem Messsignal (50) zur Positionsbestimmung des Aktorglieds (14) und/oder zur deren jeweiligen Gewichtung anhand der Minimale-Fehlerquadrat-Methode auswerten.
14. Mikrowellen-Positionsmessvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Auswertemittel (42; 42') die frequenzabhängigen Anteile (Ugl1a, Ugl2a, Ugl3a; $\Delta\phi_1$, $\Delta\phi_2$; Ugl1ar; Ugl1br) an dem Messsignal (50) zur Positionsbestimmung des Aktorglieds (14) und/oder zur deren jeweiligen Gewichtung anhand der Ausbreitungsgeschwindigkeit der gesendeten und/oder reflektierten elektromagnetischen Wellen und/oder anhand einer Kalibrierung der Mikrowellen-Antennenanordnung (34) und/oder anhand eines Vergleichs von zeitlich früher ermittelten Messwerten auswerten.
15. Mikrowellen-Positionsmessvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass sie eine insbesondere parametrierbare Tabelle (51) mit Gewichtungsfaktoren (g_{11} , g_{12} - g_{33}) aufweist, wobei die Auswertemittel (42; 42') die Gewichtungsfaktoren (g_{11} , g_{12} - g_{33}) in Abhängigkeit von einer jeweiligen Position (x) des Aktorglieds (14) in der Tabelle ermitteln.
16. Mikrowellen-Positionsmessvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass sie die Mikrowellen (43) in einem kontinuierlichen Modus sendet.
17. Mikrowellen-Positionsmessvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Auswertemittel (42; 42') vor der Gewichtung der frequenzabhängi-

gen Anteile (Ugl1a, Ugl2a, Ugl3a; $\Delta\phi_1$, $\Delta\phi_2$; Ugl1ar; Ugl1br) an dem Messsignal (50) mindestens zwei Anteile (Ugl1a, Ugl2a, Ugl3a; $\Delta\phi_1$, $\Delta\phi_2$; Ugl1ar; Ugl1br) zu einer Bestimmung der absoluten Position (x) des Aktorglieds (14) in dem Bewegungsraum (12) ausgewertet.

18. Mikrowellen-Positionsmessvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Mikrowellen-Antennenanordnung (34) zum Senden von Mikrowellen (43) mindestens einer zu den mindestens zwei voneinander verschiedenen Frequenzen redundanten Frequenz und zum Empfangen von durch zumindest teilweise Reflexion der redundanten Mikrowellen (43) an dem Aktorglied (14) gebildete redundante Reflexions-Mikrowellen (44) ausgestaltet ist, und dass die Auswertemittel (42; 42') zur Gewichtung eines Anteils (Ugl1a, Ugl2a, Ugl3a) der redundanten Mikrowellen im Verhältnis zu den anderen Anteilen (Ugl1a, Ugl2a, Ugl3a) in Abhängigkeit von der jeweiligen Position (x) des Aktorglieds (14) ausgestaltet sind.

19. Mikrowellen-Positionsmessvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Hochfrequenz-Mikrowellen-Antennenanordnung (34) auf den Bewegungsraum (12) zur Erzeugung unterschiedlich gewichtbarer frequenzabhängiger Anteile (Ugl1a, Ugl2a, Ugl3a; $\Delta\phi_1$, $\Delta\phi_2$; Ugl1ar; Ugl1br) an dem Messsignal (50) fehlangepasst ist.

20. Aktor mit einer Positionserfassungsvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche.

21. Aktor nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, dass er ein Linearaktor ist.

22. Aktor nach Anspruch 20 oder 21, dadurch gekennzeichnet, dass er ein elektrischer und/oder fluidtechnischer, insbesondere pneumatischer Aktor (11) ist.

23. Positionsmessverfahren zur Positionserfassung eines Aktorglieds (14) eines Aktors (11), wobei das Aktorglied in einem Bewegungsraum (12) eines Aktor-Gehäuses (13) beweglich angeordnet ist, mit den Schritten:

- Senden von Mikrowellen (43) mit mindestens zwei voneinander verschiedenen Frequenzen (f_1 , f_2 , f_3) in den Bewegungsraum (12) mit einer Hochfrequenz-Mikrowellen-Antennenanordnung (34)
- Empfangen von durch zumindest teilweise Reflexion der gesendeten Mikrowellen (43) an dem Aktorglied (14) gebildeten Reflexions-Mikrowellen (44) aus dem Bewegungsraum (12),
- Bildung eines die jeweilige Position (x) des Aktorglieds (14) repräsentierenden Positionssignals (52) anhand eines mittels der Reflexions-Mikrowellen (44) gebildeten Messsignals (50),
gekennzeichnet durch
- Gewichtung von von den mindestens zwei voneinander verschiedenen Frequenzen (f_1 , f_2 , f_3) abhängigen Anteilen (U_{gl1a} , U_{gl2a} , U_{gl3a} ; $\Delta\phi_1$, $\Delta\phi_2$; U_{gl1ar} ; U_{gl1br}) an dem Messsignal (50) abhängig von einer jeweiligen Position (x) des Aktorglieds (14) zur Bildung des Positionssignals (52).

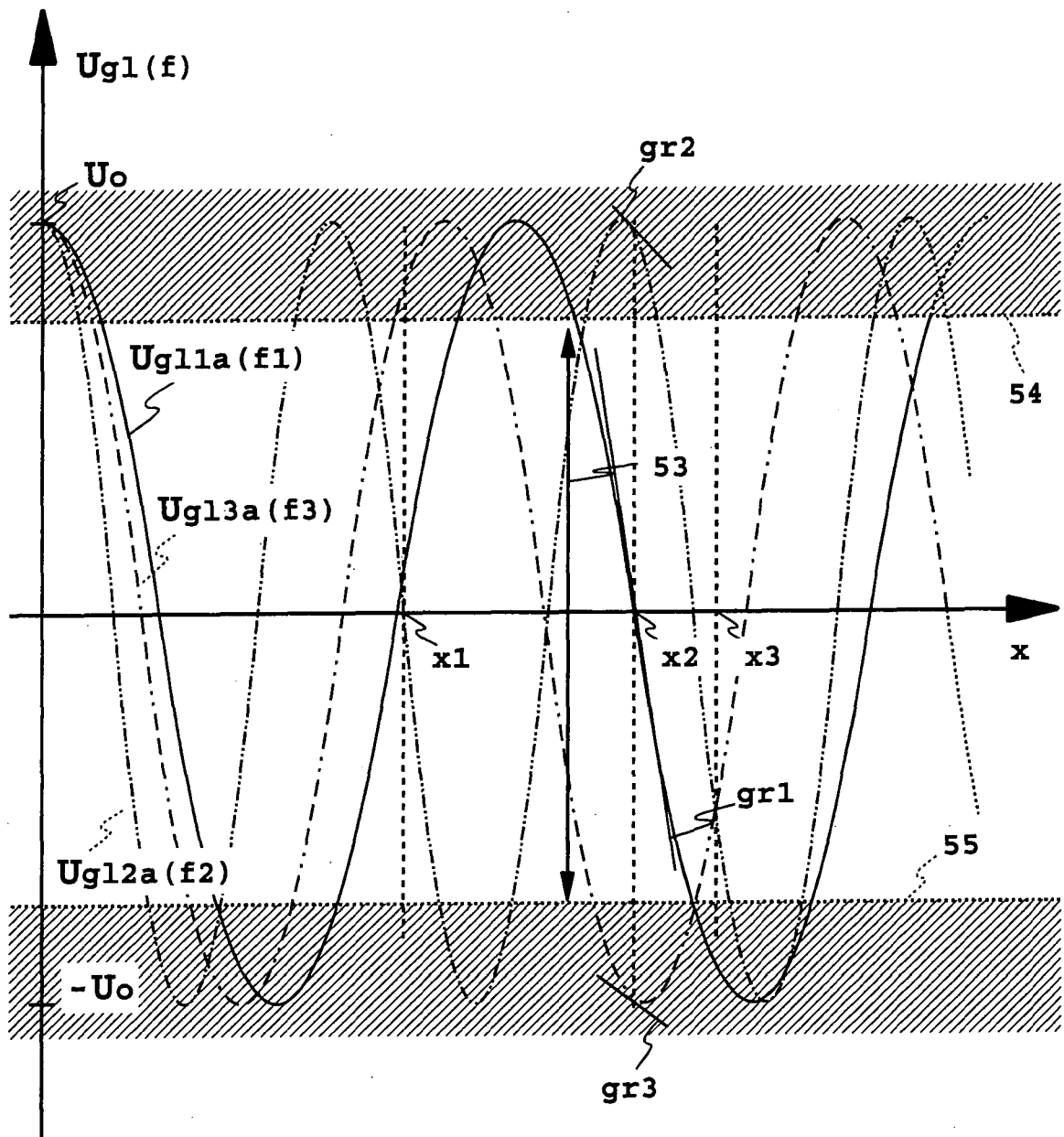


Fig. 3

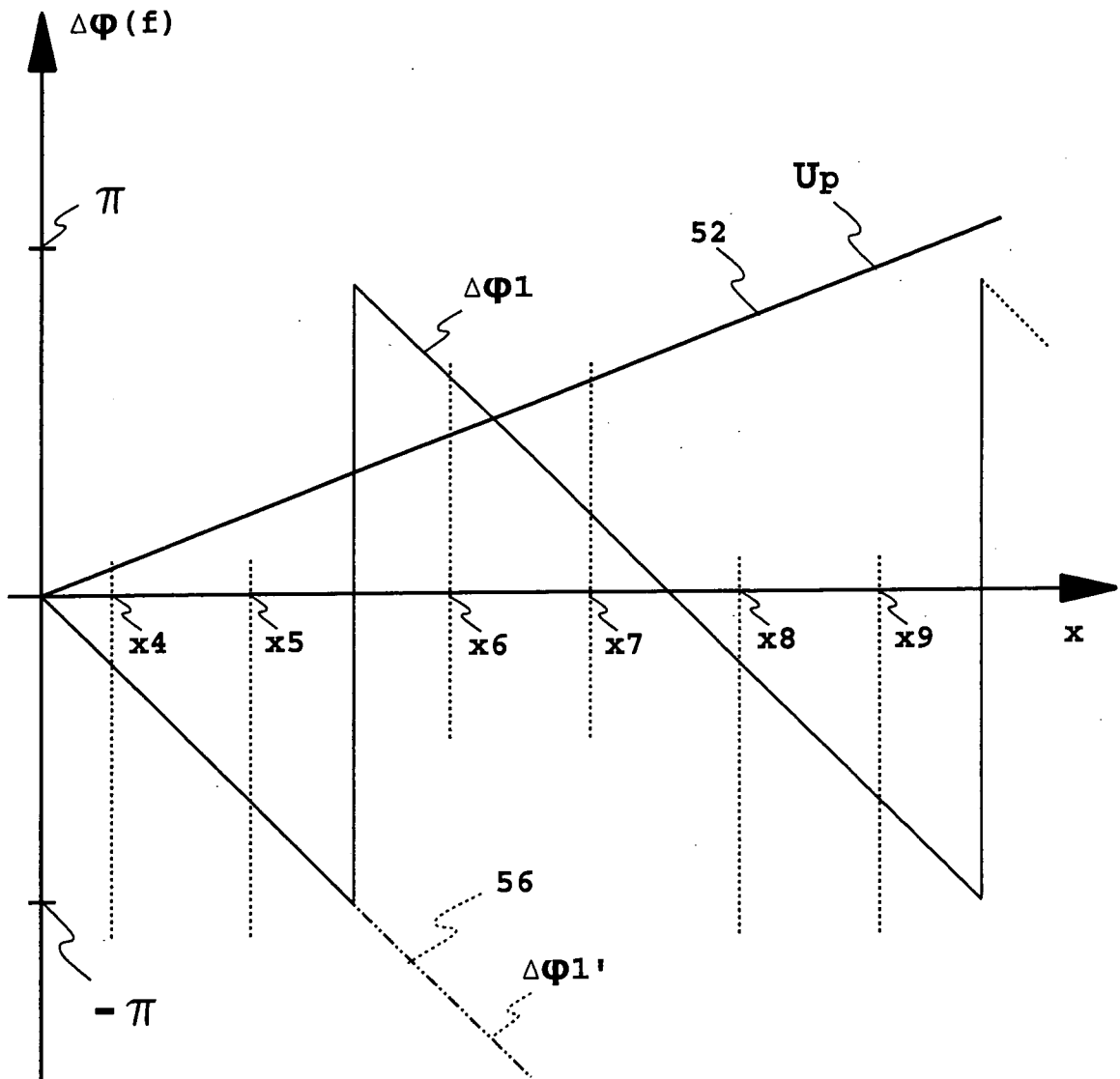


Fig.4

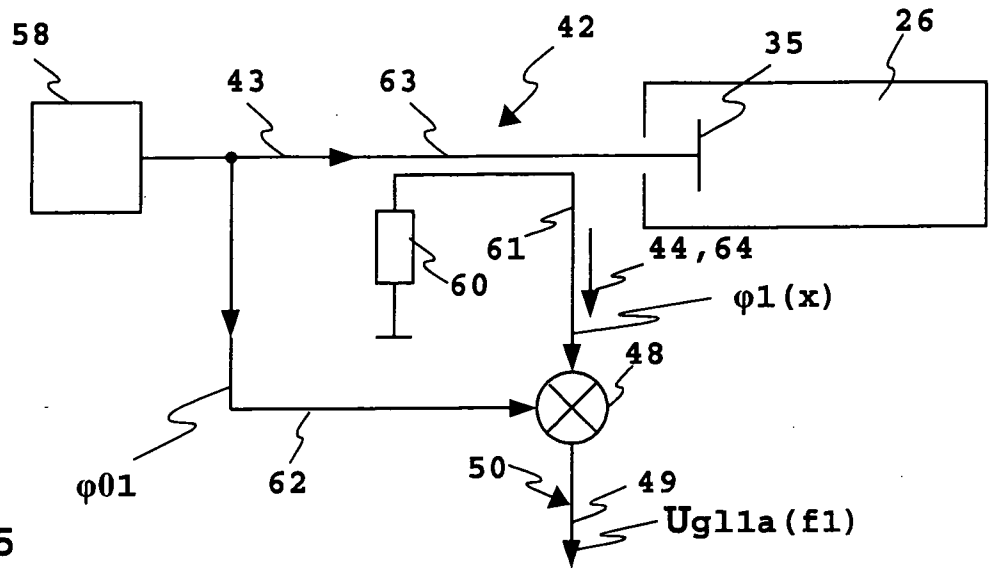


Fig. 5

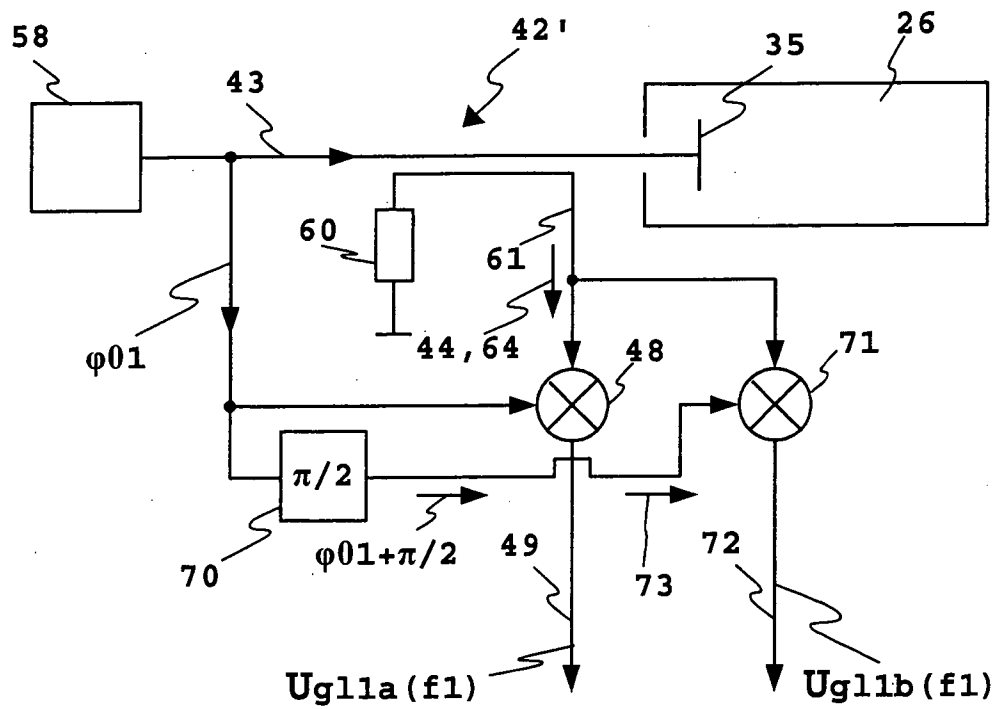


Fig. 6

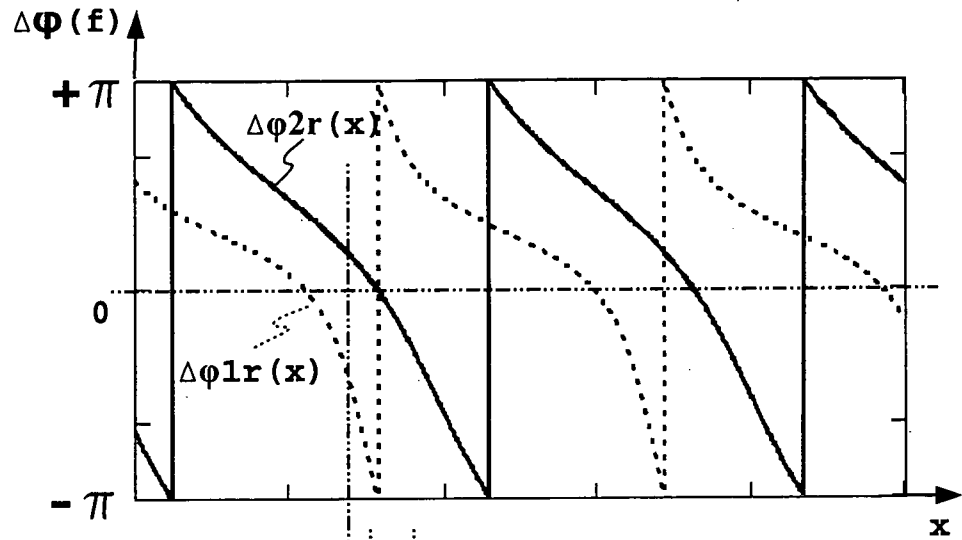


Fig.7

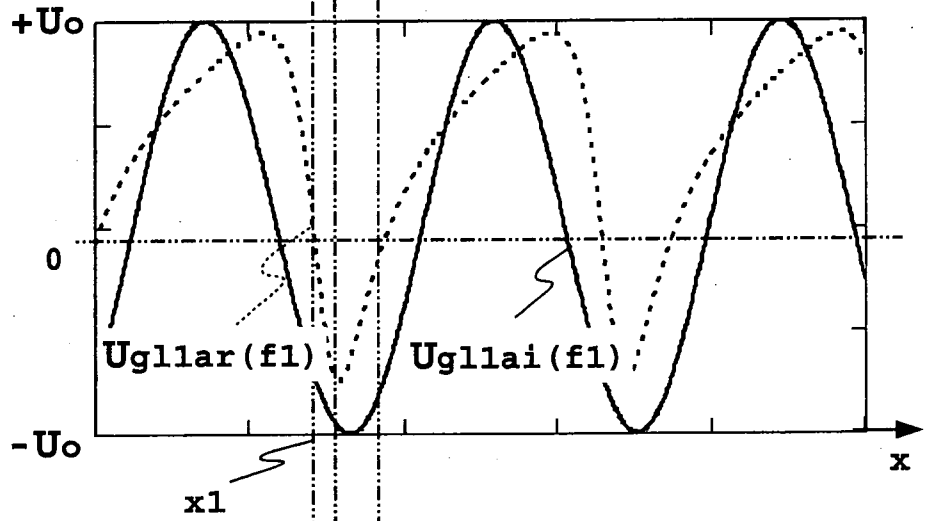


Fig.8

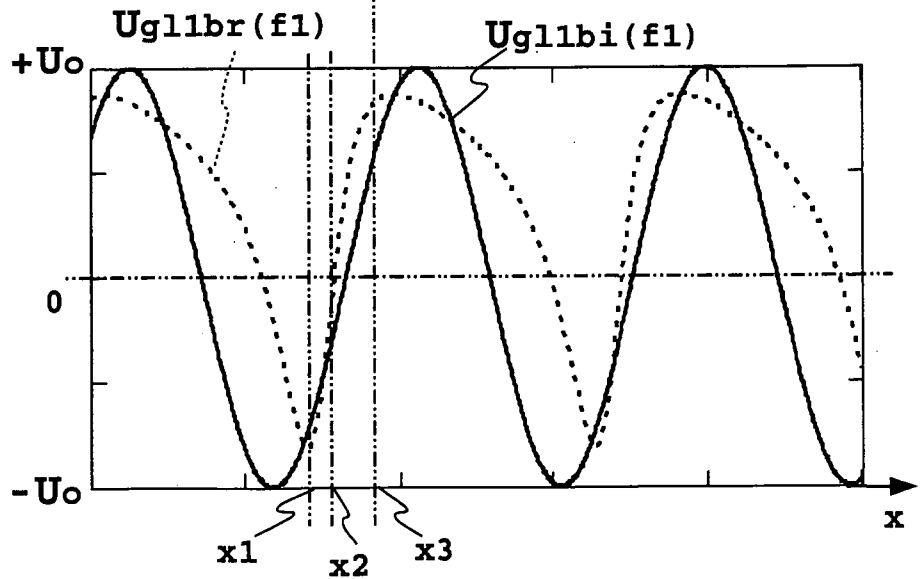


Fig.9